Modélisation et modes sémiotiques pour la résolution d'un problème en physique

Une étude de cas sur le principe d'inertie

Résumé

Dans le cadre d'un projet collaboratif, nous nous interessons à la manière dont les élèves, en groupe, résolvent un problème de physique sur le principe d'inertie. Notre approche combine les activités de modélisation constitutives du fonctionnement de la physique, et les modes sémiotiques, supports de la communication. Nous avons ainsi étudié quelles étaient les informations sur les modèles qui étaient apportées par les différents éléments constitutifs des consignes et documents de travail, et en quoi les supports de communication mobilisés par les élèves en phase de résolution permettaient de mobiliser les concepts nécessaires à la résolution du problème. Nos analyses indiquent que tous les modes sémiotiques ne permettent pas de modéliser la situation, que le format de la consigne contraint celui de la réponse des élèves, et enfin que les gestes produits de manière collaborative peuvent aider à modéliser la situation.

Mots-clés

Résolution de problème, physique, modélisation, modes sémiotiques.

Modeling and semiotic modes for problem solving in physics

A case study concerning the principle of inertia

Abstract

As part of a collaborative project, we are interested in solving problems in physics. Our approach combines the modeling activities in relation to an epistemological approach of physics, and the semiotic modes. We first studied what information on the models was provided by the various elements of the instructions and working documents. Then, we analyzed how the communication media mobilized by the students during the resolution phase helps to activate the concepts necessary for solving the problem. Our analyzes indicate that not all semiotic modes can help to model the situation, that the semiotic modes of assignements influence that of student answers, and that gestures produced collaboratively can help to model the situation.

Key-words

Problem solving, physics, modeling, semiotic modes

INTRODUCTION

Depuis quelques années, les programmes de lycée et des classes préparatoires suggèrent explicitement d'adjoindre aux autres modalités d'enseignement des résolutions de problèmes. Au collège, les instructions officielles incitent les enseignants à proposer des tâches complexes. Ces formes de travail sont envisagées par leurs promoteurs comme contribuant à la formation scientifique des élèves, en prenant appui sur la variété de leurs connaissances. Ainsi, l'apprentissage de la résolution de problèmes peut être lu dans un continuum du collège à l'enseignement supérieur dans une visée curriculaire de formation. Si de nombreux travaux de recherche autour de la résolution de problèmes en physique ont été publiés et diffusés auprès des enseignants (Dumas-Carré & Goffard, 1997 ; Boilevin & Dumas-Carré, 2001), les réformes successives de l'enseignement des sciences depuis 2005 nous incitent à réinterroger ces travaux.

CADRE THEORIQUE : APPROCHE EPISTEMO-SEMIOTIQUE

Les recherches sur la résolution de problèmes en physique ont été initiées au début des années 1980 (Goffard et Weil-Barais, 2005). Parallèlement, de nombreuses recherches en didactique se sont intéressées à la modélisation comme activité épistémologique constitutive de la physique, définie comme la recherche de relations entre les objets, les phénomènes et les concepts et les lois permettant d'expliquer, d'interpréter, de prédire ces phénomènes (Tiberghien, 1994 ; Bécu-Robinault, 2004). Modéliser implique de distinguer et d'articuler deux mondes : le monde des objets et événements et le monde des théories et modèles. Le premier est constitué des descriptions des objets matériels et des événements perceptibles qu'ils soient scientifiques ou issus de la vie quotidienne. Les explications et les prédictions relèvent soit de théories et modèles scientifiques, soit de théories naïves. Dans le cadre de la résolution de problèmes, cette approche permet d'analyser comment les élèves mobilisent les concepts et modèles physiques pour étudier une situation réelle.

L'activité de résolution de problèmes en classe est assimilée à une activité de recherche : elle doit donner à comprendre aux élèves le processus social d'élaboration des connaissances scientifiques. Cet objectif se traduit par un travail en groupes, ce qui rend essentielle l'étude des interactions entre élèves. Nous avons donc choisi de combiner à la modélisation, l'analyse des modes sémiotiques (De Cock, 2012 ; Kohl & Finkelstein, 2005 ; Kress & Van Leeuwen, 2001) : en effet, au cours des interactions, les élèves mobilisent une variété de modes sémiotiques en fonction de leurs connaissances et des caractéristiques de la situation. Chacun de ces modes permet d'exprimer des éléments relatifs aux niveaux de modélisation. La langue naturelle est le mode mobilisé pour décrire spontanément la situation réelle. Les écritures symbo-

liques permettent d'énoncer des relations fonctionnelles, numériques ou littérales, entre grandeurs. Les graphes représentent des relations fonctionnelles entre des grandeurs en les organisant dans un espace déterminé selon des règles de codage. Le schéma représente le fonctionnement d'un système étudié en sélectionnant certaines propriétés physiques de la situation expérimentale. Le dessin est aussi le résultat d'une interprétation de la situation réelle, liée aux connaissances de l'élève. Enfin, les gestes portent aussi des significations sur les modèles ou les événements (Bécu-Robinault, 2016).

Questions de recherche

Nous questionnons la résolution de problèmes en physique dans une perspective articulant un point de vue épistémologique et les modalités de communication. Quels sont les éléments de modèles et les modes sémiotiques mobilisés par les élèves au cours de la résolution d'un problème donné ? En quoi ces supports permettent-ils de modéliser la situation pour fournir une solution?

METHODOLOGIE

Les données analysées proviennent d'un projet collaboratif dont la méthodologie se rapproche de la Design-Based Research (Design-Based Research Collective, 2003). La résolution de problème étudiée a pour but d'introduire le principe d'inertie en classe de seconde. Nous focaliserons nos analyses sur les productions écrites, orales et gestuelles des élèves de l'une des classes, d'un très bon niveau scolaire. Les brouillons et les productions finales des huit groupes d'élèves ont été collectés. Nous avons également enregistré (audio et vidéo) puis transcrit et analysé du point de vue de la modélisation et des modes sémiotiques, les échanges au sein d'un groupe de quatre filles.

ANALYSE *A PRIORI* DE LA SITUATION

La situation décrite dans le document fourni aux élèves est la suivante : « *James Bond poursuit le Chiffre… Il doit absolument arrêter les actions du malfaiteur qui se trouve actuellement à bord d'un bateau. 007 s'est procuré un hélicoptère qui vole actuellement au-dessus du bateau. James se prépare à sauter sur le bateau !* » Ne sont mentionnés dans ce texte que des « objets » (James Bond, le Chiffre, le bateau et l'hélicoptère) et des événements mettant en relation ces objets (James Bond poursuit le Chiffre ; James Bond est dans l'hélicoptère ; le Chiffre est dans le bateau ; l'hélicoptère vole au-dessus du bateau ; James Bond va sauter dans le bateau). Il n'est fait mention d'aucune grandeur physique. Le mouvement du bateau n'est évoqué

qu'implicitement (si James poursuit le Chiffre, c'est que le bateau est en mouvement). A ce texte est associée une photo sur laquelle le bateau et l'hélicoptère ne sont pas l'un au-dessus de l'autre. La consigne est de « *Décrire les manœuvres à effectuer par le pilote de l'hélicoptère pour que James Bond saute à coup sûr sur le bateau* ». Les objets mentionnés sont le pilote (de l'hélicoptère), James Bond et le bateau. Les événements concernent les manœuvres à effectuer (pour donner un mouvement particulier à l'hélicoptère), et le saut de James Bond. Ici encore, aucune référence n'est faite aux grandeurs physiques.

Deux chronophotographies sont fournies pour argumenter les solutions : l'une de la chute libre d'un chat, sans vitesse initiale, l'autre de la chute libre d'un objet, lâché par un cycliste avec une vitesse initiale horizontale. Ces deux documents s'appuient sur des choix de modélisation : l'angle de prise de vue est fixe (choix du référentiel terrestre), et les photos, prises à des intervalles de temps égaux, sont superposées sur une même image. Deux éléments du modèle physique sont nommés : la vitesse initiale, et le référentiel terrestre. La chronophotographie de la balle lâchée par le cycliste est complétée par un graphique représentant les positions successives de la balle, le vecteur vitesse V_0 représenté sur le point correspondant à la première position de la balle, et la distance horizontale entre le premier et le dernier point (lorsque la balle touche le sol) indiquée $d = V_0 \Delta t$. Le texte d'accompagnement mentionne la vitesse horizontale dans le référentiel terrestre, la valeur V_0 de la vitesse initiale, le distance horizontale d au sol entre le premier et le dernier point, et enfin la durée Δt de la chute. Ce deuxième document fournit donc plus d'informations que le premier, tant concernant la relation entre les objets/événements et le modèle que sur les grandeurs en jeu (le temps, la distance ne sont pas mentionnées dans le premier document) et la manière dont elles se combinent (relation entre v, t et d). L'objectif de l'enseignante était de montrer, *via* une comparaison des solutions à ce problème, l'équivalence entre mouvement rectiligne uniforme (bateau et hélicoptère par rapport à la Terre) et immobilité (hélicoptère par rapport au bateau).

ANALYSE DES PRODUCTIONS DES ELEVES

Les brouillons des huit groupes d'élèves s'appuient tous sur des dessins, et seulement deux sur du texte en langue naturelle. Les dessins représentent l'hélicoptère, le bateau, des tracés du trajet des objets. Il s'agit le plus souvent de dessins illustratifs fournissant de nombreux détails non utiles à la résolution du problème physique. Les textes mentionnent la vitesse et sa valeur. Toutes les productions écrites finales mobilisent la langue naturelle qui est le mode sémiotique mobilisé pour la situation et la question. Les productions finales sont parfois agrémentées de dessins (2 groupes), de graphiques présentant des ressemblances avec les chronophotographies (3 groupes),

ou de symboles (3 groupes). Les grandeurs physiques mentionnées sont la vitesse, la hauteur ou la distance, les forces et le temps. Un seul groupe mentionne le référentiel et la trajectoire apparaît une seule fois dans les réponses. Cette analyse révèle des difficultés à sélectionner des concepts physiques pertinents pour représenter la situation.

Lors des échanges entre les élèves, le dessin a plusieurs fonctions : consigner durablement ce qui a été compris de la situation, spécifier la position relative des objets, représenter un trajet ou comparer deux trajets. Les dessins ne mentionnent que très rarement des éléments du modèle (sont parfois mentionnées la hauteur, la vitesse et pour un groupe le temps de chute). Au brouillon, les élèves dessinent souvent le trajet de James Bond : l'analyse des vidéos indique que, dans ce cas, c'est plus l'activité de tracé (rapidité du tracé relative à la vitesse de James Bond par exemple) qui importe que le tracé final.

Les deux chronophotographies sont discutées par le groupe enregistré. Celle du chat est rapidement rejetée : le chat n'a ni le même poids ni la même vitesse initiale que James Bond, puisque ce dernier a la même vitesse que l'hélicoptère. Ainsi, la vitesse initiale, élément du modèle fourni par la chronophotographie, contribue au rejet de ce document et les élèves raisonnent implicitement dans le référentiel terrestre. De manière symétrique, le mouvement du vélo dans la deuxième chronophotographie conduit les élèves à opérer une analogie avec le mouvement de l'hélicoptère et à préférer ce document. La présentation de deux documents pour analyser la situation incite les élèves à penser qu'un seul document est pertinent, alors que la résolution du problème passe indifféremment par l'un ou l'autre de ces documents. Au final, les élèves comparent ces documents sur la base de similitudes entre les trajets imaginés et la situation proposée.

Décrire la situation en langue naturelle permet aux élèves une comparaison des vitesses de l'hélicoptère et du bateau, même si leurs formulations laissent entendre une confusion entre la vitesse et la distance. Les élèves décrivent les trajets de manière à s'assurer d'une compréhension partagée de la situation, à comparer la situation étudiée avec celles décrites dans les documents (chronophotographies et photographie) ou d'autres imaginées, sur la base d'une seule grandeur, à savoir la vitesse.

> 326, E4 : « C'est c'est la même chose avec le métro par exemple tu sais quand t'ouvres tu sors du métro t'ouvres la porte un petit peu avant et que tu sautes et ben tu vas voir que t'as une vitesse parce que quand tu vas arriver tu vas tu vas manquer de tomber en fait parce que avec la vitesse le sol il va t'emmener tu vas c'est la même chose tu vois »

Enfin, chacune des élèves accompagne son discours de gestes pour mimer les trajets de James Bond, du bateau et de l'hélicoptère. Mais leurs deux mains ne suffisent pas pour représenter les trajets simultanés des trois objets. Une stratégie consiste à utiliser un objet, comme un stylo, pour figurer le bateau. La conséquence de ce choix est l'immobilité de cet objet. Cette difficulté est levée par un geste collaboratif : une élève

représente les trajectoires parallèles et vitesses égales du bateau et de l'hélicoptère avec les mains l'une au-dessus de l'autre (voir Figure 1) et une autre pointe avec son stylo la trajectoire parabolique de James Bond de l'hélicoptère au bateau. La capacité des élèves à gestuer seul ou à plusieurs conditionne donc la possibilité d'expérimenter et de représenter la situation.



Figure 1: Geste collaboratif pour mimer les trajectoires et vitesses des trois objets: James Bond, bateau, hélicoptère.

CONCLUSION

Notre analyse indique que la résolution du problème ne peut se faire sans connaissances minimales des élèves, tant sur les concepts à utiliser que sur leurs modes de représentation. En effet, si peu d'élèves mobilisent le concept de référentiel, ils ont tous mobilisé la vitesse et la hauteur ou la distance et le temps. Nous avons également mis en évidence que les modes sémiotiques dans les consignes conditionnent le mode sémiotique utilisé dans les productions finales (ici, la langue naturelle). De même, les grandeurs physiques mentionnées dans les documents incitent les élèves à comparer les documents et la situation sur la base de ces seules grandeurs physiques (ici, la vitesse initiale de l'objet en chute libre). Enfin, les gestes des élèves se combinent au dessin, pour différencier les trajets de James Bond selon la hauteur ou la distance horizontale. Le dessin est dans ce cas animé par un tracé effectif ou simulé. Le geste permet aussi de suppléer à l'absence de situation matérielle, les élèves mimant alors les trajectoires et vitesse des objets, tout en étant contraints par la possibilité de mimer seul les trois mouvements. Cette contrainte rend la collaboration au sein du groupe indispensable. Ces premiers résultats, qui doivent évidemment être consolidés par d'autres analyses, sont actuellement intégrés à la conception de nouveaux problèmes de manière à faire l'objet de prochaines recherches.

BIBLIOGRAPHIE

Bécu-Robinault, K. (2004). Raisonnements des élèves et sciences physiques. In E. Gentaz& P. Dessus (Eds), *Comprendre les apprentissages : sciences cognitives et éducation* (p.117-132). Paris : Dunod.

Bécu-Robinault, K. (2016). Modèles implicites dans les consignes orales et écrites : une étude de cas en optique au collège. In C. Marlot & L. Morge (Eds.), *L'investigation scientifique et technologique : analyse didactique des situations* (p.135-146). Presses universitaires de Rennes, collection Paideia.

Boilevin, J.-M., & Dumas-Carré, A. (2001). Un modèle d'activité de résolution de problèmes de physique en formation initiale d'enseignants. *Aster*, 32, 63-90.

Design-Based Research Collective (2003). Design-based research: An emerging paradigm for educational inquiry. Educational Researcher, 32(1), 5-8.

Dumas-Carré, A., & Goffard, M. (1997). *Rénover les activités de résolution de problèmes en physique*. *Concepts et démarches*. Paris: Armand Colin.

De Cock, M. (2012). Representation use and strategy choice in physics problem solving. *Physical Review special Topics – Physics Education Research*. 8(2), 020117.

Goffard, M., & Weil-Barais, A. (2005). (dir.). *Enseigner et apprendre les sciences : recherches et pratiques*. Paris : A. Colin.

Kohl, P., & Finkelstein, N. (2005). Student representational competence and self-assessment when solving physics problems. *Physical Review special Topics – Physics Education Research*. 1, 010104.

Tiberghien, A. (1994) Modeling as a basis for analyzing teaching – learning situations. Learning and Instruction, 4, 71-87.